

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОГО СИГНАЛА ЯИЧНОЙ СКОРЛУПЫ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА

Чуманова А.А., Вазиров Р.А., Соковнин С.Ю., Агданцева Е.Н., Цмокалюк А.Н.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.

Ельцина, Екатеринбург, Россия

chumanova.an@gmail.com, ruslan.vazirov@urfu.ru

Аннотация. В современной пищевой промышленности все большую набирает популярность радиационная обработка. Для контроля за качеством облучаемых продуктов и оценки поглощенных доз может быть использована ЭПР-спектметрия, как быстрый и высокоточный метод. В настоящей работе проведен литературный обзор ЭПР-спектров пищевой продукции растительного и животного происхождения и построение ЭПР-сигнала яичной скорлупы.

Ключевые слова: Радиационная обработка; электронный парамагнитный резонанс; поглощенная доза; пищевая продукция; яичная скорлупа; ЭПР-спектры.

INVESTIGATION OF RADIATION-INDUCED SIGNAL IN EGGSHELL BY ELECTRON PARAMAGNETIC RESONANCE

Chumanova. A., Vazirov R., Sokovnin C., Agdantseva E., Tsmokalyuk A.

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Abstract. Radiation treatment is becoming increasingly popular in the modern food industry. EPR spectrometry can be used to monitor the quality of irradiated products and for estimation absorbed doses as a fast and highly accurate method. In this paper, we conducted a literature review of the EPR spectra of food products of plant and animal origin and constructed the EPR signal of eggshells.

Key words: Radiation treatment; electron paramagnetic resonance; absorbed dose; food products; eggshells; EPR spectra.

Введение

В последнее время радиационная обработка в пищевой промышленности стала одним из наиболее успешных методов сохранения продуктов [1]. Облучение является альтернативой традиционных методов химической обработки и принимается ВОЗ, ФАО и МАГАТЭ в качестве стандартной и безопасной процедуры. Данный метод позволяет увеличить срок годности продуктов, предотвратить прорастание и задержать созревание фруктов и овощей, сокращая потери при хранении и транспортировке, а также радиационная обработка используется для дезинфекции и дезинсекции, снижая риск развития заболеваний, вызванных патогенными микроорганизмами [2].

Интерес к развитию данной технологии обуславливается её неоспоримыми преимуществами: при радиационной обработке не происходит изменения органолептических свойств пищевых продуктов, а содержащиеся в них питательные вещества и витамины сохраняют свою структуру. Однако изменение органолептических свойства и снижение пищевой ценности может наблюдаться при превышении поглощенной дозы, разрешенной к обработке. Также высокая конкурентоспособность описываемого метода обуславливается возможностью обработки после упаковки. [3]

В связи с распространением метода радиационной обработки возникает необходимость контроля качества пищевой продукции. Превышение допустимых доз может привести к некоторым отклонениям в организме: онкологические заболевания, генетические изменения, поэтому прежде всего остро стоит задача определения поглощенной дозы при облучении. [2]

Поглощение ионизирующего излучения веществом приводит к образованию парамагнитных центров – ионов, электронов, свободных радикалов, характеризующихся высокой реакционной способностью. [4] Для регистрации парамагнитных частиц и их исследования высокоэффективным и широко используемым методом является метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) [5].

В настоящий момент в пищевой промышленности ЭПР-спектроскопия является уникальным способом для определения дозы облучения в продуктах [5]. С помощью данного метода возможно идентифицировать свободные радикалы или парамагнитные центры, образующиеся под действием ионизирующего излучения, и определять их относительную концентрацию, которая в свою очередь пропорциональна поглощённой дозе [6]. Метод ЭПР-спектроскопии относительно быстрый и высокоточный, однако ограничен временем жизни радиационно-индуцированных свободных радикалов. Таким

образом его применение целесообразно только если время жизни превышает срок хранения исследуемых продуктов [7].

Наиболее успешно ЭПР-спектроскопия применяется для оценки воздействия облучения на широкий спектр пищевых продуктов таких как: мясо, морепродукты, сухофрукты, ягоды, орехи, специи. [8] В настоящий момент в РФ приняты 3 стандарта идентификации облученных продуктов методом ЭПР для продуктов, содержащих кости, целлюлозу и кристаллический сахар (ГОСТы Р 52529-2006, 31672-2012, 31652-2012).

Материалы и методы

В настоящей работе объектом исследования являлась скорлупа столовых куриных яиц, приобретенных в продуктовом магазине. Облучение образцов проводилось на линейном ускорителе электронов УЭЛР-10-10С в центре радиационной стерилизации УРФУ и на ускорителе электронов УРТ-0.5 в ИЭФ УрО РАН. Для контроля поглощенной дозы использовались пленочные дозиметры СО ПД(Ф)Р-5/50. Образцы облучались поглощенной дозой от 1 до 40 кГр.

После облучения от изучаемых образцов с помощью скальпеля и пинцета отделялись фрагменты 3-4 см, которые далее промывались дистиллированной водой до полного удаления остатков внутренней мембраны. Затем, после высушивания фрагментов фильтровальной бумагой, они измельчались механическим путем до гомогенного состояния. Полученный таким образом порошок помещался в измерительную ампулу, предварительно проверенную на отсутствие в ней фоновых сигналов ЭПР. Измерения ЭПР сигналов проводились сразу после облучения. Для выявления радиационно-индуцированного сигнала использовался ЭПР спектрометр ELEXSYS E500. Обработка результатов производилась в программе OriginPro.

Результаты и обсуждения.

Полученные спектры, представленные на рисунке 1, состоят из 4 разрешившихся пиков, характеризующихся разными радикалами в обработанной яичной скорлупе. При этом интенсивность ЭПР сигнала возрастает с увеличением поглощенной дозы. Интенсивность ЭПР сигнала после обработки на ускорителе УРТ-0.5 ниже, что вызвано различием энергии излучения и неравномерностью распределения поглощенной дозы. Однако для обоих источников ионизирующего излучения остается закономерное увеличение интенсивности сигнала от поглощенной дозы.

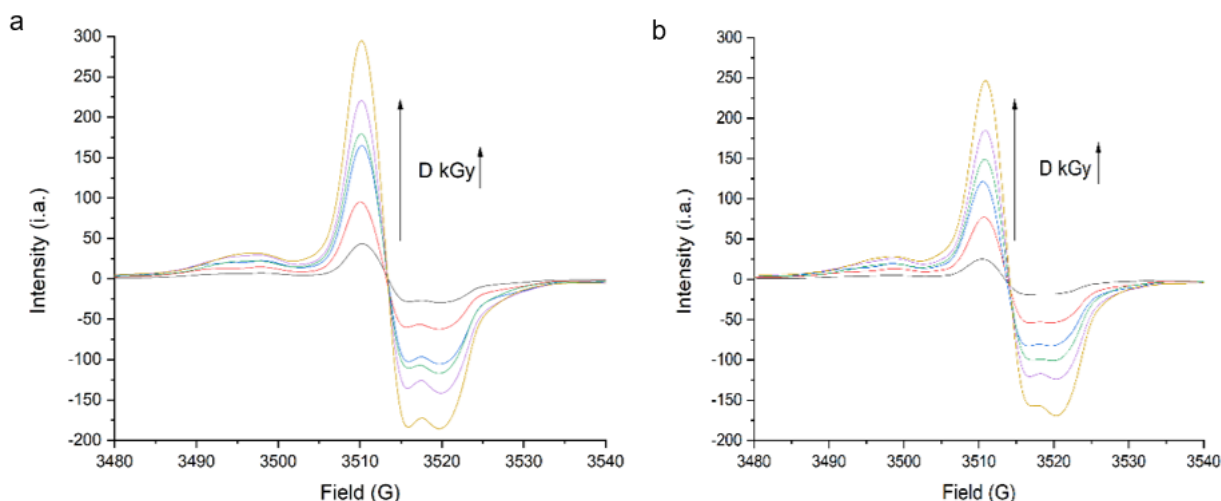


Рисунок 1 – Полученные спектры ЭПР сигнала яичной скорлупы после обработки куриных яиц на ускорителях УЭЛР-10-10С (а) и УРТ-0.5 (b)

Полученные результаты позволяют говорить о возможности использования ЭПР спектрометрии при радиационной обработке куриных яиц. Определение факта использования ионизирующего излучения и контроль за превышением допустимых границ поглощенной дозы в данном продукте имеют актуальное значение для международной практики радиационной обработки пищевой продукции. Так, в частности, превышение облучения с поглощенной дозой 3 кГр приводит к снижению органолептических свойств и пищевой ценности столовых куриных яиц, что не допустимо для потребителей.

Для анализа применимости данной технологии были изучены спектры ЭПР сигнала различной пищевой продукции после радиационной обработки.

В работе [9] описано облучение риса источником ^{60}Co . Поглощенная доза варьировалась в диапазоне 0,5-2 кГр в соответствии с рекомендациями для дезинсекции. Измерения ЭПР сигнала производили с помощью спектрометра Bruker EMX при температуре окружающей среды 27 °С. Спектр, полученный в результате эксперимента, представлен на рисунке 2а.

В работе [10] проводилось облучение яблочных семян с использованием источника γ -излучения ^{60}Co , поглощенная доза составила 1кГр. Для получения спектров ЭПР использовался спектрометр Varian E109. Интенсивность сигнала ЭПР определяли путем измерения амплитуды пиков первой производной спектра. Данный спектр представлен на рисунке 2b.

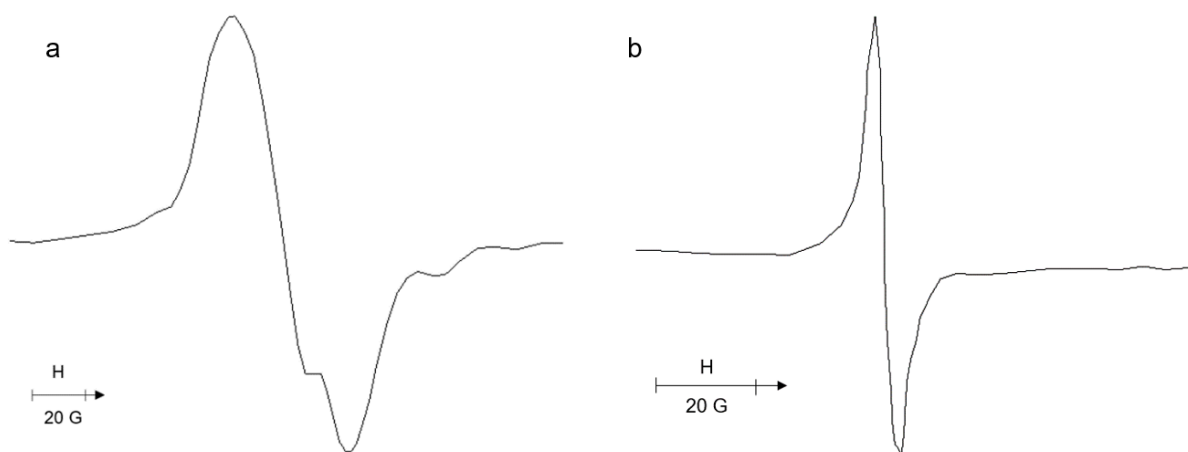


Рисунок 2 – Спектр ЭПР сигналов а) риса [9], б) яблочных семян [10]

Продукты животного происхождения изучались в работе [8]. Образцы куриных костей, костей рыбы (европейской соли) и кутикулы креветок облучали дозами 4-10 кГр с использованием источника ^{60}Co . ЭПР сигнал регистрировался на спектрометре Varian E-9 при комнатной температуре.

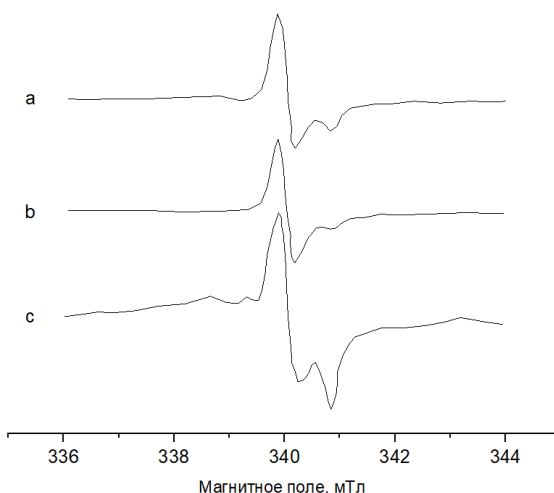


Рисунок 3 – ЭПР спектр а) куриной кости, б) рыбьей кости, с) кутикулы креветки [8]

Заключение

Исследования радиационной-индуцированного ЭПР сигнала пищевой продукции показывает широкий спектр использования данной методики при контроле радиационной обработки. Для сигналов растительного происхождения (рисунок 2) характерен одиночный пик, тогда как сигналы животного происхождения (рисунок 3) имеют по три-четыре пика. Полученный нами спектр ЭПР яичной скорлупы сопоставим по форме с сигналами животного происхождения. Ограничение данной методики может быть обусловлено составом продукта, в частности жидкие объекты не могут длительное время сохранять образованные под действием ионизирующего излучения радикалы.

Однако в некоторых случаях возможно использовать другие части продукта, как это было показано на куриных яйцах, мясе и яблоках. Использование скорлупы, костей и семян позволяет определять факт применения ионизирующего излучения, а при градуировке и валидации методики возможно определять уровень поглощенной дозы.

Библиографический список

1. Detection Methods for Irradiated Foods / S. K. Chauhan, R. Kumar, S. Nadanasabapathy, A. S. Bawa // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. Institute of Food Technologists. – 2009. – Vol. 8. – P. 4–16.
2. ЭПР-дозиметрия радиационно стерилизованных пищевых продуктов / Р.К. Жакпаров, О.В. Стахов, С.П. Пивоваров // *Вестник НЯЦ РК*. – 2007. – Вып. 1(29). С. 23 – 27.
3. Радиационное облучение продукции сельского хозяйства на ускорителях электронов / А.Ф. Клинов, С.Л. Белопухов // *Аграрная наука – сельскому хозяйству (материалы Всероссийской научно-практической конференции, г. Курск, ч.3)*. – Изд-во Курск. гос. с.-х. ак. – 2009. – С. 30 – 35.
4. EPR Measurement of Radiation-treated Chicken Eggs / R. A. Vazirov, S. Y. Sokovnin, E. N. Agdantseva, A. N. Tsmokalyuk, M. E. Balezin // *Proceedings of the VI International Young Researchers Conference on Physics, Technologies and Innovation, PTI 2019*. – 2019. – Vol 2174. – N. 020186
5. Estimation of the Absorbed Dose in Radiation-Processed Food. 4. EPR Measurements on Eggshell / M. F. Desrosiers and F. G. Le // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 1993. – Vol. 41, No. 9. – P. 1471 – 1475.
6. Detection of irradiated food-methods and routine applications / Georg A. Schreiber, Norbert Helle, Klaus Werner Bögl // *International Journal of Radiation Biology*. – 1993. – Vol. 63, No 1. – P. 105 – 130.
7. Analytical methods for the identification of irradiated foods / Kashif Akram, Jae-Jun Ahn, Joong-Ho Kwon // *Ionizing Radiation: Applications, Sources and Biological Effects*. – 2012. – P.1 – 36.
8. Use of ESR to identify irradiated food / Dodd, N. J. F., Swallow, A.J., Ley, F. J. // *Radiation Physics and Chemistry*. – 1985. T. 26. No. 4. – P. 451 – 453
9. An improved method to identify irradiated rice by EPR spectroscopy and thermoluminescence measurements / Bhaskar Sanyal, S.P. Chawla, Arun Sharma // *Food Chemistry*. – 2009. – Vol. 116. – P. 526 – 534.
10. Examination of gamma-irradiated fruits and vegetables by electron spin resonance spectroscopy / Marc F. Desrosiers And William L. McLaughlin // *Radiation Physics and Chemistry*. – 1989. – Vol. 34, No. 6. – P. 895 – 898